

Vorwort		XXXV
Kapitel 1	Einführung: Schlüsselthemen der Biologie	1
TEIL I	Die chemischen Grundlagen des Lebens	37
Kapitel 2	Chemische Grundlagen der Biologie	40
Kapitel 3	Wasser als Grundstoff für Leben	63
Kapitel 4	Kohlenstoff und die molekulare Vielfalt des Lebens	80
Kapitel 5	Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle	94
TEIL II	Die Zelle	127
Kapitel 6	Die Struktur von Zellen	130
Kapitel 7	Struktur und Funktion biologischer Membranen	170
Kapitel 8	Konzepte des Stoffwechsels	193
Kapitel 9	Zellatmung: Die Gewinnung chemischer Energie	220
Kapitel 10	Photosynthese	251
Kapitel 11	Zelluläre Kommunikation	279
Kapitel 12	Der Zellzyklus	303
TEIL III	Genetik	327
Kapitel 13	Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung	330
Kapitel 14	Mendel und das Genkonzept	350
Kapitel 15	Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung	384
Kapitel 16	Die molekularen Grundlagen der Vererbung	409
Kapitel 17	Vom Gen zum Protein	435
Kapitel 18	Regulation der Genexpression	468
Kapitel 19	Viren	506
Kapitel 20	Biotechnologie	527
Kapitel 21	Genome und ihre Evolution	568
TEIL IV	Evolutionsmechanismen	599
Kapitel 22	Evolutionstheorie: Die darwinistische Sicht des Lebens	602
Kapitel 23	Die Evolution von Populationen	627
Kapitel 24	Die Entstehung der Arten	654
Kapitel 25	Vergangene Welten	680
TEIL V	Die Evolutionsgeschichte der biologischen Vielfalt	715
Kapitel 26	Der phylogenetische Stammbaum der Lebewesen	718
Kapitel 27	Bacteria und Archaea	746
Kapitel 28	Protisten	780

Kapitel 29	Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten	811
Kapitel 30	Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen	835
Kapitel 31	Pilze	858
Kapitel 32	Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa	882
Kapitel 33	Wirbellose Tiere	900
Kapitel 34	Wirbeltiere	942

TEIL VI	Pflanzen – Form und Funktion	995
----------------	-------------------------------------	------------

Kapitel 35	Blütenpflanzen: Struktur, Wachstum, Entwicklung	998
Kapitel 36	Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen	1032
Kapitel 37	Boden und Pflanzenernährung	1060
Kapitel 38	Fortpflanzung und Biotechnologie bei Angiospermen	1082
Kapitel 39	Pflanzenreaktionen auf innere und äußere Signale	1109

TEIL VII	Tiere – Form und Funktion	1149
-----------------	----------------------------------	-------------

Kapitel 40	Grundprinzipien tierischer Form und Funktion	1152
Kapitel 41	Hormone und das endokrine System	1182
Kapitel 42	Die Ernährung der Tiere	1211
Kapitel 43	Kreislauf und Gasaustausch	1242
Kapitel 44	Das Immunsystem	1282
Kapitel 45	Osmoregulation und Exkretion	1314
Kapitel 46	Fortpflanzung der Tiere	1343
Kapitel 47	Entwicklung der Tiere	1376
Kapitel 48	Neurone, Synapsen und Signalgebung	1410
Kapitel 49	Nervensysteme	1432
Kapitel 50	Sensorische und motorische Mechanismen	1461
Kapitel 51	Tierisches Verhalten	1502

TEIL VIII	Ökologie	1535
------------------	-----------------	-------------

Kapitel 52	Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung	1538
Kapitel 53	Populationsökologie	1575
Kapitel 54	Ökologie der Lebensgemeinschaften	1609
Kapitel 55	Ökosysteme	1645
Kapitel 56	Naturschutz und Renaturierungsökologie	1678

Anhang		1711
------------------	--	------

Kapitel 1	Einführung: Schlüsselthemen der Biologie	1
1.1	Theorien und Konzepte verbinden die Disziplinen der Biologie	3
1.1.1	Evolution, der große, die gesamte Biologie überspannende Bogen	3
1.1.2	Jede Organisationsebene in der biologischen Hierarchie ist durch emergente Eigenschaften charakterisiert	4
1.1.3	Organismen interagieren mit ihrer Umwelt und tauschen dabei Materie und Energie aus	8
1.1.4	Die Biologie hat es mit Strukturen und Funktionen zu tun	9
1.1.5	Zellen sind die grundlegenden Struktur- und Funktionseinheiten eines Lebewesens	10
1.1.6	Die Kontinuität des Lebens beruht auf vererbbarer Information in Form von DNA	11
1.1.7	Biologische Systeme werden über Rückkopplungsmechanismen reguliert	14
1.2	Einheitlichkeit und Vielfalt der Organismen sind das Ergebnis der Evolution . .	16
1.2.1	Ordnung in die Vielfalt der Lebewesen bringen	16
1.2.2	Charles Darwin und die Theorie der natürlichen Selektion	19
1.2.3	Der Stammbaum des Lebens	22
1.3	Naturwissenschaftler verwenden unterschiedliche Methoden	24
1.3.1	Biologie als empirische Wissenschaft	25
1.3.2	Theoretische Wissenschaft	26
1.3.3	Eine Fallstudie: Die Erforschung der Mimikry an Schlangenpopulationen	29
1.3.4	Grenzen der Wissenschaft	31
1.3.5	Die Rolle von Modellen in der Naturwissenschaft	32
1.3.6	Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft	32

TEIL I

Die chemischen Grundlagen des Lebens

37

Kapitel 2	Chemische Grundlagen der Biologie	40
2.1	Materie besteht aus chemischen Elementen, die in reiner Form und in Form chemischer Verbindungen vorkommen	42
2.1.1	Chemische Elemente und chemische Verbindungen	42
2.1.2	Chemische Elemente, die essenziell für das Leben sind	43
2.2	Die Eigenschaften eines chemischen Elementes hängen vom Aufbau seiner Atome ab	44
2.2.1	Subatomare Teilchen	44
2.2.2	Ordnungszahl und Massenzahl	45
2.2.3	Isotope	46
2.2.4	Die Energieniveaus von Elektronen	48
2.2.5	Elektronenverteilung und chemische Eigenschaften	49
2.2.6	Atomorbitale	50
2.3	Bildung und Eigenschaften von Molekülen hängen von den chemischen Bindungen zwischen den Atomen ab	51
2.3.1	Die Kovalenzbindung	52

2.3.2	Die Ionenbindung	54
2.3.3	Schwache, nicht kovalente Bindungstypen	55
2.3.4	Molekülform und Molekülfunktion	57
2.4	Chemische Reaktionen führen zur Bildung und Auflösung von chemischen Bindungen	58
Kapitel 3 Wasser als Grundstoff für Leben		63
3.1	Die Polarität des Wassermoleküls führt zu Wasserstoffbrückenbindungen	64
3.2	Vier Eigenschaften des Wassers tragen dazu bei, dass die Erde für das Leben ein geeigneter Ort ist	65
3.2.1	Kohäsion	65
3.2.2	Ausgleich von Temperaturunterschieden	66
3.2.3	Aufschwimmendes Eis als Garant für den Lebensraum Wasser	68
3.2.4	Des Lebens Lösungsmittel	69
3.3	Die Säure-/Base-Bedingungen beeinflussen lebende Organismen	72
3.3.1	Effekte einer pH-Wertveränderung	72
3.3.2	Gefährdungen der Wasserqualität auf der Erde	75
Kapitel 4 Kohlenstoff und die molekulare Vielfalt des Lebens		80
4.1	Die organische Chemie befasst sich mit dem Studium von Verbindungen des Kohlenstoffs	81
4.2	Kohlenstoffgerüste erlauben die Bildung vielgestaltiger Moleküle	83
4.2.1	Die Bindungsbildung des Kohlenstoffs	83
4.2.2	Molekulare Vielfalt durch Variation des Kohlenstoffgerüsts	85
4.3	Eine kleine Anzahl funktioneller Gruppen bildet den Schlüssel zur Funktion von Biomolekülen	88
4.3.1	Die für die Lebensprozesse wichtigsten funktionellen Gruppen	88
4.3.2	ATP: Eine wichtige Energiequelle zellulärer Prozesse	89
4.3.3	Die chemischen Elemente des Lebens: Eine Rückschau	89
Kapitel 5 Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle		94
5.1	Makromoleküle sind aus Monomeren aufgebaute Polymere	95
5.1.1	Synthese und Abbau von Polymeren	95
5.1.2	Die Vielfalt der Polymere	96
5.2	Kohlenhydrate dienen als Energiequelle und Baumaterial	97
5.2.1	Zucker	97
5.2.2	Polysaccharide	99
5.3	Lipide: Eine heterogene Gruppe hydrophober Moleküle	103
5.3.1	Fette	103
5.3.2	Phospholipide	105
5.3.3	Steroide	106
5.4	Proteine: Funktionsvielfalt durch Strukturvielfalt	107
5.4.1	Polypeptide	107
5.4.2	Proteinstruktur und Proteinfunktion	109
5.5	Nucleinsäuren speichern und übertragen die Erbinformation	118
5.5.1	Die Aufgaben der Nucleinsäuren	118
5.5.2	Nucleinsäurestruktur	119
5.5.3	Die DNA-Doppelhelix	120
5.5.4	DNA und Proteine als Zeitmaß der Evolution	121
5.5.5	Emergenz in der Molekularbiologie: Eine Rückschau	122

Kapitel 6	Die Struktur von Zellen	130
6.1	Untersuchung von Zellen mittels Mikroskopie und Biochemie	131
6.1.1	Mikroskopie	132
6.1.2	Zellfraktionierung	135
6.2	Eukaryotische Zellen sind kompartimentiert	136
6.2.1	Vergleich prokaryotischer mit eukaryotischen Zellen	137
6.2.2	Die eukaryotische Zelle im Überblick	138
6.3	Die genetischen Anweisungen einer eukaryotischen Zelle sind im Zellkern codiert und werden von den Ribosomen umgesetzt	139
6.3.1	Der Zellkern: Die Informationszentrale der Zelle	139
6.3.2	Ribosomen: Die Proteinfabriken der Zelle	143
6.4	Das Endomembransystem der Zelle: Regulation und Teil des Stoffwechsels	144
6.4.1	Das endoplasmatische Reticulum: Die biosynthetische Fabrik	144
6.4.2	Der Golgi-Apparat: Fracht- und Umbauzentrum	146
6.4.3	Lysosomen: Kompartimente der Verdauung	147
6.4.4	Vakuolen: Vielseitige Mehrzweckorganellen	149
6.4.5	Das Endomembransystem: Eine Rückschau	149
6.5	Mitochondrien und Chloroplasten: Kraftwerke der Zelle	150
6.5.1	Mitochondrien: Umwandlung chemischer Energie	151
6.5.2	Chloroplasten: Umwandlung von Lichtenergie	152
6.5.3	Peroxisomen: Weitere Oxidationen	153
6.6	Das Cytoskelett: Organisation von Struktur und Aktivität	153
6.6.1	Funktionen des Cytoskeletts: Stütze, Motilität und Regulation	154
6.6.2	Cytoskelettkomponenten	155
6.7	Zell-Zell-Kommunikation	161
6.7.1	Pflanzenzellwände	161
6.7.2	Die extrazelluläre Matrix tierischer Zellen	162
6.7.3	Zell-Zell-Verbindungen (interzelluläre Verbindungen)	164
6.7.4	Die Zelle: Kleinste Einheit des Lebens	165
Kapitel 7	Struktur und Funktion biologischer Membranen	170
7.1	Zelluläre Membranen bilden ein flüssiges Mosaik aus Lipiden und Proteinen	171
7.1.1	Membranmodelle in der wissenschaftlichen Forschung	172
7.1.2	Die Fluidität von Membranen	174
7.1.3	Membranproteine und ihre Funktionen	175
7.1.4	Die Rolle von Kohlenhydraten bei der Zell-Zell-Erkennung	177
7.1.5	Synthese und topologische Asymmetrie von Membranen	178
7.2	Die Membranstruktur bedingt selektive Permeabilität	179
7.2.1	Die Permeabilität der Lipiddoppelschicht	179
7.2.2	Transportproteine	179
7.3	Passiver Transport: Diffusion durch eine Membran ohne Energiezufuhr	180
7.3.1	Osmotische Effekte und die Wasserbalance	181
7.3.2	Erleichterte Diffusion: Protein-gestützter passiver Transport	183
7.4	Aktiver Transport: Gelöste Stoffe werden gegen ihr Konzentrationsgefälle unter Energieverbrauch transportiert	185
7.4.1	Der Energiebedarf des aktiven Transports	185
7.4.2	Wie Ionenpumpen das Membranpotenzial aufrechterhalten	186
7.4.3	Cotransport: Gekoppelter Transport durch ein Membranprotein	187

7.5	Massentransport durch die Plasmamembran per Exo- und Endocytose	188
7.5.1	Exocytose	188
7.5.2	Endocytose	188
Kapitel 8 Konzepte des Stoffwechsels		193
8.1	Metabolismus: Umwandlung von Stoffen und Energie nach den Gesetzen der Thermodynamik	194
8.1.1	Die biochemischen Prozesse sind in Stoffwechselpfaden organisiert . . .	194
8.1.2	Energieformen	195
8.1.3	Die Gesetze der Energietransformation	196
8.2	Die Spontaneität einer Reaktion hängt von der Änderung ihrer freien Enthalpie ab	198
8.2.1	Die Änderung der freien Enthalpie (ΔG)	199
8.2.2	Freie Enthalpie, Stabilität und chemisches Gleichgewicht	199
8.2.3	Freie Enthalpie und Stoffwechsel	201
8.3	ATP ermöglicht Zellarbeit durch die Kopplung von exergonen an endergone Reaktionen	203
8.3.1	Struktur und Hydrolyse von ATP	203
8.3.2	Wie ATP Arbeit leistet	204
8.3.3	Die Regeneration des ATP	204
8.4	Enzyme beschleunigen chemische Reaktionen durch das Absenken von Energiebarrieren	206
8.4.1	Die Aktivierungs-Hürde	206
8.4.2	Wie Enzyme die Aktivierungsenergie senken	207
8.4.3	Die Substratspezifität von Enzymen	208
8.4.4	Katalyse im aktiven Zentrum des Enzyms	209
8.4.5	Die Abhängigkeit der Enzymaktivität von Umgebungsbedingungen . . .	211
8.5	Steuerung des Stoffwechsels durch Regulation der Enzymaktivität	213
8.5.1	Allosterische Regulation von Enzymen	213
8.5.2	Die spezifische Lokalisation von Enzymen in der Zelle	216
Kapitel 9 Zellatmung: Die Gewinnung chemischer Energie		220
9.1	Der katabole Stoffwechsel liefert Energie durch die Oxidation organischer Brennstoffe	221
9.1.1	Katabole Stoffwechselwege und die ATP-Produktion	221
9.1.2	Redoxreaktionen: Oxidation und Reduktion	222
9.1.3	Die Stadien der Zellatmung: Eine Vorschau	226
9.2	Die Glycolyse oxidiert Glucose zu Pyruvat, wobei Energie frei wird	228
9.3	Der Citratzyklus vervollständigt die energieliefernde Oxidation organischer Moleküle	231
9.4	Ein chemiosmotischer Prozess koppelt den Elektronentransport an die ATP-Synthese	234
9.4.1	Der Elektronentransport-Pfad	234
9.4.2	Energiekopplung durch einen chemiosmotischen Mechanismus	235
9.4.3	Eine Bilanzierung der ATP-Produktion durch die Zellatmung	240
9.5	Durch Gärung und anaerobe Atmung können Zellen auch ohne Sauerstoff ATP synthetisieren	241
9.5.1	Formen der Gärung	242
9.5.2	Ein Vergleich von Gärung und aerober Atmung	243
9.5.3	Die Bedeutung der Glycolyse im Rahmen der Evolution	244
9.6	Die Glycolyse und der Citratzyklus sind mit vielen anderen Stoffwechselwegen verknüpft	245

9.6.1	Die Vielseitigkeit des Katabolismus	245
9.6.2	Biosynthesen (anabole Stoffwechselwege)	246
9.6.3	Die Regulation der Zellatmung durch Rückkopplungsmechanismen ...	246

Kapitel 10 Photosynthese 251

10.1	Die Photosynthese wandelt Lichtenergie in chemische Energie um	253
10.1.1	Chloroplasten: Die Orte der Photosynthese in Pflanzen	253
10.1.2	Der Weg einzelner Atome im Verlauf der Photosynthese: Wissenschaftliche Forschung	254
10.1.3	Die Wasseroxidation	255
10.1.4	Zwei Stadien der Photosynthese: Eine Vorschau	256
10.2	Die Lichtreaktionen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie in Form von ATP und NADPH um	258
10.2.1	Die Natur des Lichtes	258
10.2.2	Photosynthesepigmente: Die Lichtrezeptoren	258
10.2.3	Anregung von Chlorophyll durch Licht	261
10.2.4	Photosystem = Reaktionszentrum + Lichtsammelkomplex	262
10.2.5	Der lineare Elektronenfluss	263
10.2.6	Der zyklische Elektronenfluss	265
10.2.7	Der chemiosmotische Prozess in Chloroplasten und Mitochondrien im Vergleich	266
10.3	Der Calvin-Zyklus verbraucht ATP und NADPH, um CO ₂ in Zucker umzuwandeln	268
10.4	In heißen, trockenen Klimazonen haben sich alternative Mechanismen der Kohlenstofffixierung herausgebildet	270
10.4.1	Die Photorespiration: Ein Überbleibsel der Evolution?	271
10.4.2	C ₄ -Pflanzen	272
10.4.3	CAM-Pflanzen	273
10.4.4	Die Bedeutung der Photosynthese: Eine Rückschau	273

Kapitel 11 Zelluläre Kommunikation 279

11.1	Externe Signale werden in intrazelluläre Antworten umgewandelt	280
11.1.1	Evolution der zellulären Signalverarbeitung	280
11.1.2	Die drei Stadien der zellulären Signaltransduktion: Ein Überblick	281
11.2	Erkennung: Ein Signalmolekül bindet an ein Rezeptorprotein	283
11.2.1	Rezeptorproteine in der Plasmamembran	283
11.2.2	Intrazelluläre Rezeptorproteine	283
11.3	Übertragung: Signaltransduktion durch kaskadierende Signalweiterleitung ...	287
11.3.1	Signaltransduktionswege	287
11.3.2	Proteinphosphorylierung und Proteindephosphorylierung	287
11.3.3	Niedermolekulare Moleküle und Ionen als sekundäre Botenstoffe	289
11.3.4	Zyklisches AMP	289
11.4	Antwort: Die Signalübertragung führt zur Regulation der Transkription oder von Aktivitäten im Cytoplasma	292
11.4.1	Antworten des Zellkerns und des Cytoplasmas	292
11.4.2	Feinabstimmung der Antwort auf Signale	295
11.5	Die Apoptose (programmierter Zelltod) geht mit der Integration mehrerer Signaltransduktionswege einher	297
11.5.1	Apoptose beim Fadenwurm <i>Caenorhabditis elegans</i>	298
11.5.2	Apoptotische Signalwege und die Signale, die sie aktivieren	298

Kapitel 12	Der Zellzyklus	303
12.1	Aus der Zellteilung gehen genetisch identische Tochterzellen hervor	304
12.1.1	Die Organisation des genetischen Materials in der Zelle	305
12.1.2	Die Verteilung der Chromosomen bei der eukaryotischen Zellteilung ...	306
12.2	Der Wechsel von Mitose und Interphase im Zellzyklus	307
12.2.1	Die Phasen des Zellzyklus	307
12.2.2	Der Spindelapparat	310
12.2.3	Die Cytokinese	312
12.2.4	Zweiteilung	313
12.2.5	Die Evolution der Mitose	315
12.3	Der eukaryotische Zellzyklus wird durch ein molekulares Kontrollsystem gesteuert	316
12.3.1	Hinweise auf die Existenz cytoplasmatischer Signale	316
12.3.2	Das Zellzyklus-Kontrollsystem	316
12.3.3	Der Verlust der Zellzyklus-Kontrolle bei Krebszellen	322
TEIL III	Genetik	327
Kapitel 13	Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung	330
13.1	Gene werden mit den Chromosomen von den Eltern an ihre Nachkommen weitergegeben	332
13.1.1	Die Vererbung von Genen	332
13.1.2	Ein Vergleich von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung	332
13.2	Befruchtung und Meiose wechseln sich beim geschlechtlichen Generationswechsel ab	333
13.2.1	Die Chromosomensätze menschlicher Zellen	333
13.2.2	Das Verhalten der Chromosomensätze im menschlichen Lebenszyklus	336
13.2.3	Die Vielfalt der Lebenszyklen bei der geschlechtlichen Fortpflanzung	336
13.3	In der Meiose wird der diploide auf einen haploiden Chromosomensatz reduziert	338
13.3.1	Die Meiosestadien	338
13.3.2	Mitose und Meiose im Vergleich	339
13.4	Die geschlechtliche Fortpflanzung erhöht die genetische Variabilität – ein wichtiger Motor der Evolution	344
13.4.1	Ursprung der genetischen Variabilität unter Nachkommen	344
13.4.2	Die Bedeutung der genetischen Variabilität von Populationen für die Evolution	346
Kapitel 14	Mendel und das Genkonzept	350
14.1	Das wissenschaftliche Vorgehen von Mendel führte zu den Gesetzen der Vererbung	351
14.1.1	Mendels quantitativ-experimenteller Ansatz	352
14.1.2	Die Spaltungsregel (Zweite Mendel'sche Regel)	353
14.1.3	Die Unabhängigkeitsregel (Dritte Mendel'sche Regel)	358
14.2	Die Mendel'sche Vererbung von Merkmalen unterliegt den Gesetzen der Statistik	360

14.2.1	Die Anwendung von Multiplikations- und Additionsregel auf Einfaktorkreuzungen	361
14.2.2	Die Lösung komplexer genetischer Probleme mit den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung	362
14.3	Die Mendel'schen Regeln sind oft unzureichend, um beobachtete Erbgänge zu erklären	363
14.3.1	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln bei einzelnen Genen	363
14.3.2	Die Erweiterung der Mendel'schen Regeln bei mehr als einem Gen	366
14.3.3	Gene und Erziehung: Der Einfluss der Umwelt auf den Phänotyp	367
14.3.4	Eine integrierte „Mendel'sche“ Sicht auf die Vererbung und die genetische Variabilität	368
14.4	Viele Merkmale des Menschen werden nach den Mendel'schen Regeln vererbt	369
14.4.1	Die Analyse von Stammbäumen	369
14.4.2	Rezessive Erbkrankheiten	370
14.4.3	Dominante Erbkrankheiten	373
14.4.4	Multifaktorielle Krankheiten	374
14.4.5	Genetische Untersuchungen und Beratung	374

Kapitel 15 Chromosomen bilden die Grundlage der Vererbung 384

15.1	Die Chromosomen bilden die strukturelle Grundlage der Mendel'schen Vererbung	385
15.1.1	Thomas Hunt Morgans Versuchsergebnisse: Das wissenschaftliche Vorgehen	386
15.2	Die Vererbung geschlechtsgebundener Gene	388
15.2.1	Die Geschlechtschromosomen	389
15.2.2	Die Vererbung geschlechtsgebundener Gene	391
15.2.3	Die Inaktivierung eines X-Chromosoms bei weiblichen Säugetieren	392
15.3	Die Vererbung gekoppelter Gene auf einem Chromosom	393
15.3.1	Einfluss der Genkopplung auf die Vererbung	393
15.3.2	Rekombination und Kopplung	393
15.3.3	Die Kartierung von Genen anhand von Rekombinationshäufigkeiten: Wissenschaftliches Vorgehen	394
15.4	Abweichungen in Chromosomenzahl oder -struktur verursachen einige bekannte Erbkrankheiten	398
15.4.1	Abweichende Chromosomenzahlen	398
15.4.2	Abweichende Chromosomenstrukturen	400
15.4.3	Menschliche Erbkrankheiten, die auf Veränderungen in der Chromosomenzahl oder -struktur zurückzuführen sind	400
15.5	Von der Chromosomentheorie abweichende Erbgänge	403
15.5.1	Genomische Prägung	403
15.5.2	Genome von Organellen und ihre Vererbung	404

Kapitel 16 Die molekularen Grundlagen der Vererbung 409

16.1	Die DNA ist die Erbsubstanz	410
16.1.1	Die Suche nach der Erbsubstanz: Wissenschaftliche Forschung	410
16.1.2	Ein Strukturmodell der DNA: Wissenschaftliche Forschung	414
16.2	Viele Proteine kooperieren bei der Replikation und Reparatur der DNA	417
16.2.1	Das Grundprinzip: Basenpaarung mit einem Matrizenstrang	417
16.2.2	Die molekularen Mechanismen der DNA-Replikation	418
16.2.3	Korrekturlesen und DNA-Reparatur	424
16.2.4	Die Replikation der Enden linearer DNA-Moleküle	426
16.3	Ein Chromosom besteht aus einem mit Proteinen verpackten DNA-Molekül	428

Kapitel 17	Vom Gen zum Protein	435
17.1	Die Verbindung von Genen und Proteinen über Transkription und Translation . . .	436
17.1.1	Die Untersuchung von Stoffwechselstörungen	436
17.1.2	Die Grundlagen der Transkription und Translation	439
17.1.3	Der genetische Code	441
17.2	Transkription – die DNA-abhängige RNA-Synthese: Eine nähere Betrachtung . . .	444
17.2.1	Die molekularen Komponenten des Transkriptionsapparates	444
17.2.2	Synthese eines RNA-Transkriptes	446
17.3	Eukaryotische Zellen modifizieren mRNA-Moleküle nach der Transkription . . .	447
17.3.1	Veränderung der Enden einer eukaryotischen mRNA	447
17.3.2	Mosaikgene und RNA-Spleißen	448
17.4	Translation – die RNA-abhängige Polypeptidsynthese: Eine nähere Betrachtung	451
17.4.1	Die molekularen Komponenten des Translationsapparates	451
17.4.2	Die Biosynthese von Polypeptiden	455
17.4.3	Vom Polypeptid zum funktionsfähigen Protein	457
17.5	Punktmutationen können die Struktur und Funktion eines Proteins beeinflussen	459
17.5.1	Formen der Punktmutation	460
17.5.2	Mutagene	461
17.6	Das Genkonzept gilt universell für alle Lebewesen, nicht aber die Mechanismen der Genexpression	462
17.6.1	Ein Vergleich der Genexpression bei Bakterien, Archaeen und Eukaryonten	462
17.6.2	Was ist ein Gen? Eine neue Betrachtung	463
Kapitel 18	Regulation der Genexpression	468
18.1	Bakterien reagieren auf wechselnde Umweltbedingungen häufig mit Transkriptionsveränderungen	469
18.1.1	Das Operon-Konzept	470
18.1.2	Reprimierbare und induzierbare Operone: Zwei Formen der negativen Regulation der Genexpression	472
18.1.3	Positive Regulation der Genexpression	474
18.2	Die Expression eukaryotischer Gene kann auf verschiedenen Stufen reguliert werden	475
18.2.1	Differenzielle Genexpression	475
18.2.2	Regulation der Chromatinstruktur	476
18.2.3	Regulation der Transkriptionsinitiation	479
18.2.4	Mechanismen der posttranskriptionalen Regulation	483
18.3	Die Regulation der Genexpression durch nicht-codierende RNAs	485
18.3.1	Die Wirkung von Mikro-RNAs und kleinen interferierenden RNAs auf die mRNA	486
18.3.2	Chromatinumbau und Stilllegung der Transkription durch kleine RNAs	487
18.4	Ein Programm zur differenziellen Genexpression bedingt das Auftreten verschiedener Zelltypen in einem Lebewesen	487
18.4.1	Ein genetisches Programm für die Embryonalentwicklung	488
18.4.2	Cytoplasmatische Determinanten und Induktionssignale	488
18.4.3	Die schrittweise Regulation der Genexpression während der Zelldifferenzierung	489
18.4.4	Musterbildung zur Festlegung des Körperbaus	491

18.5	Krebs entsteht durch genetische Veränderungen, die den Zellzyklus deregulieren	496
18.5.1	Gene und Krebs	496
18.5.2	Die Störung zellulärer Signalketten	498
18.5.3	Das Mehrstufenmodell der Krebsentstehung	498
18.5.4	Genetische Veranlagung und andere krebsfördernde Faktoren	500
Kapitel 19	Viren	506
19.1	Ein Virus besteht aus einer von einer Proteinhülle eingeschlossenen Nucleinsäure	507
19.1.1	Die Entdeckung der Viren: Ein wissenschaftlicher Exkurs	508
19.1.2	Der Aufbau von Viren	509
19.2	Viren vermehren sich nur in Wirtszellen	510
19.2.1	Grundlagen der Virenvermehrung	511
19.2.2	Die Phagenvermehrung	512
19.2.3	Vermehrungszyklen von Tierviren	514
19.2.4	Die Evolution von Viren	517
19.3	Viren, Viroide und Prionen als Pathogene von Tieren und Pflanzen	519
19.3.1	Viruserkrankungen von Tieren	519
19.3.2	Das Auftreten neuer Viren	520
19.3.3	Viruserkrankungen bei Pflanzen	522
19.3.4	Viroide und Prionen: Die einfachsten Krankheitserreger	523
Kapitel 20	Biotechnologie	527
20.1	Die DNA-Klonierung liefert viele Kopien eines Gens oder anderer DNA-Abschnitte	529
20.1.1	DNA-Klonierung und ihre Anwendungen: Ein Überblick	529
20.1.2	Der Einsatz von Restriktionsendonucleasen zur Herstellung rekombinanter DNA	529
20.1.3	Die Klonierung eines eukaryotischen Gens in einem bakteriellen Plasmid	531
20.1.4	Die Expression klonierter Eukaryontengene	536
20.1.5	Die <i>in vitro</i> -Amplifikation von DNA: Polymerasekettenreaktion (PCR)	538
20.2	Die Gentechnik erlaubt die Untersuchung der Sequenz, der Expression und der Funktion eines Gens	540
20.2.1	Gelelektrophorese und Southern-Blotting	540
20.2.2	DNA-Sequenzierung	544
20.2.3	Genexpressionsanalyse	544
20.2.4	Ermittlung der Funktion eines Genprodukts	548
20.3	Die Klonierung von Organismen zur Bereitstellung von Stammzellen für die Forschung und andere Anwendungen	549
20.3.1	Die Klonierung von Pflanzen aus Einzelzellkulturen	550
20.3.2	Die Klonierung von Tieren: Zellkerntransplantation	551
20.3.3	Tierische Stammzellen	553
20.4	Gentechnische Anwendungen beeinflussen unser Leben	555
20.4.1	Medizinische Anwendungen	555
20.4.2	Genetische Profile in der Gerichtsmedizin	559
20.4.3	Umweltsanierung	561
20.4.4	Landwirtschaftliche Anwendungen	561
20.4.5	Gentechnologie: Sicherheitsbedenken und ethische Fragen	563

Kapitel 21

Genome und ihre Evolution

568

21.1

Neue Ansätze zur schnelleren Genomsequenzierung

570

21.1.1

Der Dreistufenansatz der Genomsequenzierung

570

21.1.2

Die Schrotschussmethode zur Genomsequenzierung

571

21.2

Genomanalyse mithilfe der Bioinformatik

572

21.2.1

Zentralisierte Ressourcen zur Analyse von Genomsequenzen

573

21.2.2

Das Aufspüren proteincodierender Gene in DNA-Sequenzen

573

21.2.3

Untersuchungen von Genen und ihren Produkten
in komplexen Systemen

575

21.3

Genome unterscheiden sich in der Größe und der Zahl der Gene
sowie in der Gendichte

577

21.3.1

Genomgröße

577

21.3.2

Genzahl

577

21.3.3

Gendichte und nicht-codierende DNA

578

21.4

Eukaryotische Vielzeller besitzen viel nicht-codierende DNA
und viele Multigenfamilien

579

21.4.1

Transponierbare Elemente und verwandte Sequenzen

580

21.4.2

Andere repetitive DNA-Sequenzen

582

21.4.3

Gene und Multigenfamilien

582

21.5

Genomevolution durch Duplikation, Umlagerung und Mutation der DNA

584

21.5.1

Duplikation ganzer Chromosomensätze

584

21.5.2

Veränderungen der Chromosomenstruktur

584

21.5.3

Duplikation und Divergenz einzelner Gene

585

21.5.4

Umlagerungen von Genteilen: Exonduplikation und Exonaustausch
(„Exon-shuffling“)

587

21.5.5

Wie transponierbare genetische Elemente
zur Genomevolution beitragen

588

21.6

Ein Vergleich von Genomsequenzen

589

21.6.1

Genomvergleiche

589

21.6.2

Vergleich von Entwicklungsprozessen

593

TEIL IV

Evolutionsmechanismen

599

Kapitel 22

Evolutionstheorie: Die darwinistische Sicht des Lebens

602

22.1

Die Darwin'sche Theorie widersprach der traditionellen Ansicht,
die Erde sei jung und von unveränderlichen Arten bewohnt

604

22.1.1

Scala naturae und die Klassifikation der Arten

605

22.1.2

Vorstellungen über die Veränderungen von Organismen
im Lauf der Zeit

605

22.1.3

Lamarcks Evolutionstheorie

606

22.2

Evolutionstheorie: Gemeinsame Abstammung, Variationen zwischen
den Individuen und natürliche Selektion erklären die Anpassungen
von Organismen

607

22.2.1

Darwins Feldforschung

607

22.2.2

Die Entstehung der Arten

610

22.3

Die Evolutionstheorie wird durch eine Vielzahl
wissenschaftlicher Befunde gestützt

615

22.3.1

Direkte Beobachtungen evolutiver Veränderungen

615

22.3.2

Fossilbelege

617

22.3.3

Homologie

619

22.3.4	Biogeografie	622
22.3.5	Ist die darwinistische Sichtweise der phylogenetischen Entwicklung der Organismen zu theoretisch?	623

Kapitel 23 Die Evolution von Populationen 627

23.1	Mutation und sexuelle Fortpflanzung sorgen für die genetische Variabilität, die Evolution möglich macht	628
23.1.1	Genetische Variabilität	629
23.1.2	Mutation	631
23.1.3	Sexuelle Fortpflanzung und Rekombination	632
23.2	Mithilfe der Hardy-Weinberg-Gleichung lässt sich herausfinden, ob in einer Population Evolution stattfindet	633
23.2.1	Genpool und Allelfrequenzen	633
23.2.2	Das Hardy-Weinberg-Gesetz	634
23.3	Natürliche Selektion, genetische Drift und Genfluss können die Allelfrequenzen in einer Population verändern	638
23.3.1	Natürliche Selektion	638
23.3.2	Genetische Drift	638
23.3.3	Genfluss	641
23.4	Die natürliche Selektion ist der einzige Mechanismus, der auf Dauer für eine adaptive Evolution sorgt	643
23.4.1	Eine nähere Analyse der natürlichen Selektion	643
23.4.2	Die Schlüsselrolle der natürlichen Selektion bei der adaptiven Evolution	645
23.4.3	Sexuelle Selektion	646
23.4.4	Erhaltung der genetischen Variabilität	647
23.4.5	Warum die natürliche Selektion keine „perfekten“ Organismen hervorbringen kann	650

Kapitel 24 Die Entstehung der Arten 654

24.1	Das biologische Artkonzept betont die reproduktiven Isolationsmechanismen . . .	655
24.1.1	Das biologische Artkonzept	656
24.1.2	Weitere alternative Artkonzepte	658
24.2	Artbildung mit und ohne geografische Isolation	659
24.2.1	Allopatrische Artbildung	662
24.2.2	Sympatrische Artbildung	665
24.2.3	Allopatrische und sympatrische Artbildung: Eine Zusammenfassung . . .	667
24.3	Hybridzonen ermöglichen die Analyse von Faktoren, die zur reproduktiven Isolation führen	668
24.3.1	Evolutionsprozesse in Hybridzonen	669
24.3.2	Zeitliche Entwicklung von Hybridzonen	670
24.4	Artbildung kann schnell oder langsam erfolgen und aus Veränderungen weniger oder vieler Gene resultieren	673
24.4.1	Der zeitliche Verlauf der Artbildung	673
24.4.2	Die Genetik der Artbildung	675
24.4.3	Von der Artbildung zur Makroevolution	676

Kapitel 25 Vergangene Welten 680

25.1	Die Bedingungen auf der jungen Erde ermöglichten die Entstehung des Lebens	681
25.1.1	Synthese organischer Verbindungen zu Beginn der Erdentwicklung . . .	682

25.1.2	Abiotische Synthese von Makromolekülen	683
25.1.3	Protobionten	683
25.1.4	Selbstreplizierende RNA und die Anfänge der natürlichen Selektion	684
25.2	Fossilfunde dokumentieren die Geschichte des Lebens	685
25.2.1	Die Fossilfunde	685
25.2.2	Datierung von Gesteinen und Fossilien	685
25.2.3	Die Entstehung neuer Organismengruppen	687
25.3	Zu den Schlüsselereignissen in der Evolution gehören die Entstehung einzelliger und vielzelliger Organismen sowie die Besiedlung des Festlands	689
25.3.1	Die ersten einzelligen Organismen	689
25.3.2	Der Ursprung der Vielzelligkeit	692
25.3.3	Die Besiedlung des Festlands	694
25.4	Aufstieg und Niedergang dominanter Gruppen in Zusammenhang mit Kontinentaldrift, Massenaussterben und adaptiver Radiation	695
25.4.1	Kontinentaldrift	695
25.4.2	Massenaussterben	698
25.4.3	Adaptive Radiationen	701
25.5	Veränderungen im Körperbau können durch Änderungen in der Sequenz und Regulation von Entwicklungsgenen entstehen	703
25.5.1	Evolutionäre Effekte von Entwicklungsgenen	703
25.5.2	Evolution von Entwicklungsprozessen	705
25.6	Evolution ist nicht zielorientiert	708
25.6.1	Evolutionäre Neuerungen	708
25.6.2	Evolutionäre Trends	709

TEIL V Die Evolutionsgeschichte der biologischen Vielfalt 715

Kapitel 26 Der phylogenetische Stammbaum der Lebewesen 718

26.1	Phylogenie als Spiegelbild stammesgeschichtlicher Verwandtschaftsbeziehungen	720
26.1.1	Die binominale Nomenklatur	720
26.1.2	Hierarchische Klassifikation	721
26.1.3	Der Zusammenhang zwischen Klassifikation und Phylogenie	722
26.1.4	Was sagen phylogenetische Stammbäume aus?	723
26.1.5	Der Nutzen der Phylogenie	724
26.2	Die Ableitung der Stammesgeschichte aus morphologischen und molekularbiologischen Befunden	725
26.2.1	Morphologische und molekulare Homologien	725
26.2.2	Homologie und Analogie	726
26.2.3	Bewertung molekularer Homologien	727
26.3	Die Rekonstruktion phylogenetischer Stammbäume anhand gemeinsamer Merkmale	728
26.3.1	Kladistik	728
26.3.2	Phylogenetische Stammbäume mit proportionaler Länge der Äste	731
26.3.3	Maximale Parsimonie und maximale Wahrscheinlichkeit	732
26.3.4	Phylogenetische Stammbäume als Hypothesen	733
26.4	Das Genom als Beleg für die evolutive Vergangenheit eines Lebewesens	735
26.4.1	Genduplikationen und Genfamilien	736
26.4.2	Evolution von Genomen	737
26.5	Mit molekularen Uhren kann man den zeitlichen Ablauf der Evolution verfolgen	737

26.5.1	Molekulare Uhren	737
26.5.2	Mithilfe der molekularen Uhr aufgeklärt: Der Ursprung von HIV	739
26.6	Neue Befunde und die Weiterentwicklung unserer Kenntnisse über den Stammbaum der Organismen	740
26.6.1	Von zwei Organismenreichen zu drei Domänen	740
26.6.2	Ein einfacher Stammbaum für alle Organismen	741
26.6.3	Der Baum des Lebens: Ein Ring?	742

Kapitel 27 Bacteria und Archaea 746

27.1	Das Erfolgsrezept der Prokaryonten: Strukturelle und funktionelle Anpassungen	747
27.1.1	Zelloberflächenstrukturen	748
27.1.2	Beweglichkeit	749
27.1.3	Innerer Aufbau und Genomorganisation	751
27.1.4	Fortpflanzung und Anpassung	752
27.2	Schnelle Vermehrung, Mutation und Neukombination von Genen als Ursache der genetischen Vielfalt von Prokaryonten	754
27.2.1	Schnelle Vermehrung und Mutation	754
27.2.2	Neukombination von Genen	754
27.3	Die Evolution vielfältiger Anpassungen in der Ernährung und im Stoffwechsel von Prokaryonten	757
27.3.1	Die Rolle des Sauerstoffs im Stoffwechsel	759
27.3.2	Stickstoff-Stoffwechsel	759
27.3.3	Kooperation im Stoffwechsel	759
27.4	Die Phylogenie der Prokaryonten, aufgeklärt mit molekularer Systematik	760
27.4.1	Erkenntnisse der molekularen Systematik	760
27.4.2	Stammbegriff bei Prokaryonten	761
27.4.3	Artbestimmung mit molekularen Methoden	761
27.4.4	Kultivierbarkeit von Prokaryonten und Phylogenie nicht kultivierter Prokaryontenarten	761
27.4.5	Der phylogenetische Stammbaum der Prokaryonten	762
27.4.6	Archaea	763
27.4.7	Bacteria	764
27.5	Kommunikation mit der Umwelt	768
27.5.1	Zweikomponentensysteme	769
27.5.2	Molekulare Vorgänge bei der Chemotaxis	770
27.6	Die entscheidende Bedeutung der Prokaryonten für die Biosphäre	772
27.6.1	Chemisches Recycling	772
27.6.2	Wechselwirkungen mit anderen Organismen	773
27.7	Schädliche und nützliche Auswirkungen der Prokaryonten auf den Menschen	774
27.7.1	Bakterielle Krankheitserreger	774
27.7.2	Prokaryonten in Forschung und Technik	775

Kapitel 28 Protisten 780

28.1	Die meisten Eukaryonten sind Einzeller	781
28.1.1	Struktur- und Funktionsvielfalt bei Protisten	782
28.1.2	Endosymbiose in der Evolution der Eukaryonten	782
28.1.3	Die fünf Übergruppen der Eukaryonten	783
28.2	Excavata: Protisten mit abgewandelten Mitochondrien und bemerkenswerten Flagellen	784
28.2.1	Diplomonada und Parabasalia	784
28.2.2	Euglenozoa	785

28.3	Chromalveolata sind wahrscheinlich durch sekundäre Endosymbiose entstanden	789
28.3.1	Alveolata	789
28.3.2	Stramenopilata	791
28.4	Rhizaria: Eine vielgestaltige Gruppe von Protisten, definiert durch Ähnlichkeiten in der DNA	797
28.4.1	Foraminifera	797
28.4.2	Radiolaria	798
28.5	Die engsten Verwandten der Landpflanzen: Rot- und Grünalgen	798
28.5.1	Rhodophyta	798
28.5.2	„Grünalgen“	799
28.6	Unikonta: Protisten, die eng mit Pilzen und Tieren verwandt sind	801
28.6.1	Amoebozoa	802
28.6.2	Opisthokonta	804
28.7	Protisten als wichtige Komponenten ökologischer Wechselbeziehungen	805
28.7.1	Symbiontische und parasitische Protisten	806
28.7.2	Photosynthetisch aktive Protisten	806
Kapitel 29 Die Vielfalt der Pflanzen I: Wie Pflanzen das Land eroberten		811
29.1	Die Entstehung der Landpflanzen aus Grünalgen	812
29.1.1	Morphologische und molekularbiologische Befunde	812
29.1.2	Notwendige Anpassungen beim Übergang an Land	813
29.1.3	Schlüsselinnovationen bei Landpflanzen	814
29.1.4	Ursprung und Radiation der Landpflanzen	815
29.2	Moose haben einen vom Gametophyten dominierten Lebenszyklus	820
29.2.1	Die Gametophyten der Bryophyten	820
29.2.2	Die Sporophyten der Bryophyten	822
29.2.3	Die ökologische und ökonomische Bedeutung der Moose	824
29.3	Die ersten hochwüchsigen Pflanzen: Farne und andere samenlose Gefäßpflanzen	825
29.3.1	Entstehung und Merkmale der Gefäßpflanzen	826
29.3.2	Klassifikation der samenlosen Gefäßpflanzen (Pteridophyten, Farngewächse)	829
29.3.3	Die Bedeutung der samenlosen Gefäßpflanzen	831
Kapitel 30 Die Vielfalt der Pflanzen II: Evolution der Samenpflanzen		835
30.1	Samen und Pollen: Schlüsselanpassungen an das Landleben	836
30.1.1	Vorteile reduzierter Gametophyten	837
30.1.2	Heterosporie ist bei Samenpflanzen die Regel	837
30.1.3	Samenanlagen und die Produktion der Eizellen	838
30.1.4	Pollen und die Bildung von Spermazellen	838
30.1.5	Der Vorteil von Samen in der Evolution der Landpflanzen	839
30.2	Die Zapfen der Gymnospermen tragen „nackte“, direkt zugängliche Samenanlagen	839
30.2.1	Die Evolution der Gymnospermen	839
30.2.2	Der Entwicklungszyklus einer Kiefer	840
30.3	Die wichtigsten Weiterentwicklungen der Angiospermen sind Blüten und Früchte	844
30.3.1	Merkmale der Angiospermen	844
30.3.2	Die Evolution der Angiospermen	848
30.3.3	Die Vielfalt der Angiospermen	849
30.3.4	Evolutionäre Konsequenzen der Wechselwirkungen zwischen Angiospermen und Tieren	852

30.4	Die Bedeutung der Samenpflanzen für die Menschheit	853
30.4.1	Produkte aus Samenpflanzen	853
30.4.2	Gefahren für die Artenvielfalt der Pflanzen	854
Kapitel 31 Pilze		858
31.1	Pilze sind heterotroph und nehmen ihre Nährstoffe durch Absorption auf	859
31.1.1	Ernährung und Ökologie	859
31.1.2	Körperbau	860
31.2	Pilze bilden während der geschlechtlichen oder der ungeschlechtlichen Vermehrung Sporen	862
31.2.1	Geschlechtliche Fortpflanzung	863
31.2.2	Ungeschlechtliche Vermehrung	863
31.3	Die Entwicklung der Pilze aus einem im Wasser lebenden begeißelten Protisten	864
31.3.1	Der Ursprung der Pilze	864
31.3.2	Sind Mikrosporidien eng mit den Pilzen verwandt?	865
31.3.3	Der Wechsel auf das trockene Land	865
31.4	Die verschiedenen Abstammungslinien der Pilze	866
31.4.1	Chytridien	866
31.4.2	Zygomyceten	866
31.4.3	Glomerulomyceten	869
31.4.4	Ascomyceten	869
31.4.5	Basidiomyceten	870
31.5	Die zentrale Bedeutung der Pilze für Stoffkreisläufe, ökologische Wechselbeziehungen und den Menschen	873
31.5.1	Pilze als Destruenten	873
31.5.2	Pilze als Mutualisten	873
31.5.3	Pilze als Krankheitserreger	876
31.5.4	Der praktische Nutzen von Pilzen	877
Kapitel 32 Eine Einführung in die Diversität und Evolution der Metazoa		882
32.1	Metazoa sind vielzellige heterotrophe Eukaryonten mit Geweben, die sich aus embryonalen Keimblättern entwickeln	883
32.1.1	Ernährungsweise	883
32.1.2	Zellstruktur und Zellspezialisierung	884
32.1.3	Fortpflanzung und Entwicklung	884
32.2	Die Evolutionsgeschichte der Metazoa umfasst mehr als eine halbe Milliarde Jahre	886
32.2.1	Neoproterozoikum (vor einer Milliarde bis 542 Millionen Jahren)	886
32.2.2	Paläozoikum (vor 542–251 Millionen Jahren)	887
32.2.3	Mesozoikum (vor 251–65,5 Millionen Jahren)	888
32.2.4	Känozoikum (vor 65,5 Millionen Jahren bis zur Gegenwart)	888
32.3	Metazoa lassen sich über „Baupläne“ beschreiben	888
32.3.1	Symmetrie	890
32.3.2	Gewebe	890
32.3.3	Leibeshöhlen	891
32.3.4	Proterostome und deuterostome Entwicklung	892
32.4	Aus den molekularen Daten erwachsen neue Erkenntnisse über die Phylogenie	893
32.4.1	Übereinstimmungen	894
32.4.2	Fortschritte bei der Entschlüsselung der phylogenetischen Beziehungen innerhalb der Bilateria	895
32.4.3	Die Zukunft der Systematik der Metazoa	897

Kapitel 33 Wirbellose Tiere

900

33.1	Schwämme sind Tiere ohne echte Gewebe	905
33.2	Cnidaria bilden eine phylogenetisch alte Metazoengruppe	906
33.2.1	Hydrozoa	908
33.2.2	Scyphozoa	909
33.2.3	Cubozoa	909
33.2.4	Anthozoa	910
33.3	Lophotrochozoa, ein Taxon, das anhand molekularer Daten identifiziert wurde, weist das breiteste Spektrum aller Baupläne im Tierreich auf	910
33.3.1	Plathelminthes	911
33.3.2	Rotatoria (Rotifera)	914
33.3.3	Tentaculata: Bryozoa und Brachiopoda	915
33.3.4	Mollusca (Weichtiere)	916
33.3.5	Annelida (Ringelwürmer)	920
33.4	Ecdysozoa sind die artenreichste Tiergruppe	923
33.4.1	Nematoda (Fadenwürmer)	923
33.4.2	Arthropoda (Gliederfüßer)	924
33.5	Echinodermata und Chordata sind Deuterostomia	935
33.5.1	Echinodermata (Stachelhäuter)	936
33.5.2	Chordata (Chordatiere)	937

Kapitel 34 Wirbeltiere

942

34.1	Chordaten haben eine Chorda dorsalis und ein dorsales Neuralrohr	943
34.1.1	Abgeleitete Chordatenmerkmale	944
34.1.2	Acrania Cephalochordata (Lanzettfischchen)	945
34.1.3	Tunicata (Manteltiere)	946
34.1.4	Die frühe Chordatenevolution	947
34.2	Craniota sind Chordaten, die einen Schädel haben	948
34.2.1	Abgeleitete Craniotenmerkmale	949
34.2.2	Die Entstehung der Cranioten	949
34.2.3	Myxinoidea (Schleimaale)	950
34.3	Wirbeltiere sind Cranioten, die eine Wirbelsäule haben	951
34.3.1	Abgeleitete Wirbeltiermerkmale	951
34.3.2	Neunaugen	951
34.3.3	Fossilien früher Wirbeltiere	952
34.3.4	Der Ursprung von Knochen und Zähnen	953
34.4	Gnathostomata sind Wirbeltiere, die einen Kiefer haben	953
34.4.1	Abgeleitete Gnathostomenmerkmale	953
34.4.2	Fossile Gnathostomata	954
34.4.3	Chondrichthyes (Knorpelfische: Haie, Rochen und Verwandte)	955
34.4.4	Actinopterygii und Sarcopterygii (Strahlenflosser und Fleischflosser)	957
34.5	Tetrapoda sind Osteognathostomata, die Laufbeine haben	960
34.5.1	Abgeleitete Tetrapodenmerkmale	960
34.5.2	Die Entstehung der Tetrapoden	961
34.5.3	Lissamphibia (Amphibien)	961
34.6	Amniota sind Tetrapoda, bei denen ein für das Landleben angepasstes Eistadium entstanden ist	965
34.6.1	Abgeleitete Amniotenmerkmale	965
34.6.2	Frühe Amnioten	967
34.6.3	Sauropsida	967
34.7	Mammalia sind Amnioten, die behaart sind und Milch produzieren	974
34.7.1	Abgeleitete Säugetiermerkmale	974

34.7.2	Frühevolution der Säugetiere	975
34.7.3	Monotremata (Kloakentiere)	975
34.7.4	Marsupialia (Beuteltiere)	976
34.7.5	Eutheria (Placentatiere)	977
34.8	Menschen sind Säugetiere, die ein großes Gehirn haben und sich auf zwei Beinen fortbewegen	981
34.8.1	Abgeleitete menschliche Merkmale	981
34.8.2	Die ersten Homininen	983
34.8.3	Die Australopithecinen	985
34.8.4	Zweibeinigkeit (Bipedie)	986
34.8.5	Werkzeuggebrauch	986
34.8.6	Frühe Vertreter der Gattung <i>Homo</i>	987
34.8.7	Die Neandertaler	988
34.8.8	<i>Homo sapiens</i>	988

TEIL VI Pflanzen – Form und Funktion 995

Kapitel 35 Blütenpflanzen: Struktur, Wachstum, Entwicklung 998

35.1	Bau und Funktion des Pflanzenkörpers – die Anatomie von Organen, Geweben und Zellen	999
35.1.1	Die drei Grundorgane der Blütenpflanze: Wurzel, Spross und Blatt	1000
35.1.2	Abschlussgewebe, Leitgewebe und Grundgewebe	1003
35.1.3	Grundtypen der Pflanzenzelle	1006
35.2	Meristeme bilden Zellen für neue Organe	1009
35.3	Primäres Wachstum ist verantwortlich für die Längenzunahme von Wurzel und Sprossachse	1011
35.3.1	Primäres Wachstum der Wurzel	1011
35.3.2	Primäres Wachstum des Sprosses	1012
35.4	Sekundäres Dickenwachstum vergrößert bei verholzten Pflanzen den Umfang von Sprossachse und Wurzel	1015
35.4.1	Cambium und sekundäres Leitgewebe	1017
35.4.2	Das Korkcambium und die Bildung des Periderms	1019
35.5	Wachstum, Morphogenese und Differenzierung formen den Pflanzenkörper	1020
35.5.1	Die Molekularbiologie revolutioniert die Pflanzenwissenschaften	1020
35.5.2	Wachstum – Zellteilung und Zellstreckung	1020
35.5.3	Morphogenese und Musterbildung	1023
35.5.4	Genexpression und Kontrolle der Zelldifferenzierung	1024
35.5.5	Einfluss der Zellposition auf die weitere Entwicklung	1025
35.5.6	Veränderte Entwicklungsprozesse durch Phasenwechsel	1026
35.5.7	Genetische Kontrolle der Blütenentwicklung	1027

Kapitel 36 Stoffaufnahme und Stofftransport bei Gefäßpflanzen 1032

36.1	Landpflanzen nehmen Stoffe sowohl oberirdisch als auch unterirdisch auf	1033
36.1.1	Aufbau der Sprossachse und Lichtabsorption	1034
36.1.2	Wurzelaufbau und die Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen	1036
36.2	Transport durch Kurzstrecken-Diffusion oder aktiven Transport sowie durch Langstrecken-Massenströmung	1037
36.2.1	Diffusion und aktiver Transport von gelösten Stoffen	1037
36.2.2	Diffusion von Wasser (Osmose)	1038
36.2.3	Drei Haupttransportwege	1041
36.2.4	Massenströmung beim Langstreckentransport	1042

36.3	Wasser und Mineralstoffe werden von der Wurzel zum Spross transportiert ...	1043
36.3.1	Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen in die Wurzelzellen	1043
36.3.2	Transport von Wasser und Mineralstoffen ins Xylem	1045
36.3.3	Massenströmung wird durch negativen Druck im Xylem angetrieben ...	
36.3.4	Das Steigen des Xylemsafts durch Massenströmung: Zusammenfassung	1048
36.4	Stomata sind an der Regulierung der Transpirationsrate beteiligt	1049
36.4.1	Stomata als wichtigster Ort des Wasserverlusts	1049
36.4.2	Mechanismen der Spaltöffnungsbewegung	1050
36.4.3	Reize für die Spaltöffnungsbewegung	1051
36.4.4	Auswirkungen der Transpiration auf Welken und Blatttemperatur	1051
36.4.5	Anpassungen, die den Wasserverlust durch Verdunstung vermindern ...	
36.5	Zuckertransport erfolgt vom Produktionsort – den Blättern – zum Verbrauchs- oder Speicherort	1051
36.5.1	Zuckertransport von <i>Source</i> zu <i>Sink</i>	1052
36.5.2	Massenströmung durch positiven Druck – Assimilattransport bei Angiospermen	1054
36.6	Der Symplast – ein dynamisches System	1054
36.6.1	Plasmodesmen – ständig wechselnde Strukturen	1055
36.6.2	Elektrisches „ <i>Signaling</i> “ im Phloem	1056
36.6.3	Das Phloem – eine „Datenautobahn“	1057
Kapitel 37 Boden und Pflanzenernährung		1060
37.1	Boden – eine lebende, jedoch endliche Ressource	1061
37.1.1	Bodenart	1061
37.1.2	Zusammensetzung des Oberbodens	1062
37.1.3	Bodenschutz und nachhaltige Landwirtschaft	1063
37.2	Pflanzen benötigen für ihren Lebenszyklus essenzielle Nährelemente	1066
37.2.1	Makro- und Mikronährelemente	1067
37.2.2	Symptome des Nährstoffmangels	1068
37.2.3	Verbesserung der Pflanzenernährung durch Gentechnik – einige Beispiele	1070
37.3	Zur Pflanzenernährung tragen auch andere Organismen bei	1071
37.3.1	Bodenbakterien und Pflanzenernährung	1071
37.3.2	Pilze und Pflanzenernährung	1075
37.3.3	Epiphyten, parasitische Pflanzen und carnivore Pflanzen	1077
Kapitel 38 Fortpflanzung und Biotechnologie bei Angiospermen		1082
38.1	Blüten, doppelte Befruchtung und Früchte: Besonderheiten im Entwicklungszyklus der Angiospermen	1084
38.1.1	Aufbau und Funktion der Blüte	1084
38.1.2	Doppelte Befruchtung	1087
38.1.3	Entwicklung, Gestalt und Funktion des Samens	1089
38.1.4	Gestalt und Funktion der Frucht	1093
38.2	Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung bei Angiospermen	1096
38.2.1	Mechanismen der asexuellen (vegetativen) Fortpflanzung	1096
38.2.2	Vor- und Nachteile von sexueller und asexueller Fortpflanzung	1096
38.2.3	Mechanismen zur Verhinderung der Selbstbestäubung	1097
38.2.4	Vegetative Vermehrung und Landwirtschaft	1098
38.3	Der Mensch verändert die Nutzpflanzen durch Züchtung und Gentechnik	1100
38.3.1	Pflanzenzüchtung	1100
38.3.2	Biotechnologie und Gentechnik bei Pflanzen	1101
38.3.3	Kontroverse Pflanzenbiotechnologie	1103

39.1	Signaltransduktionswege – die Verbindung zwischen Perzeption und Antwort	1110
39.1.1	Perzeption (Erkennung)	1112
39.1.2	Transduktion (Übertragung)	1112
39.1.3	Antwort	1112
39.2	Pflanzenhormone koordinieren Wachstum, Entwicklung und Reizantworten ...	1114
39.2.1	Entdeckung der Pflanzenhormone	1115
39.2.2	Übersicht über die Phytohormone	1117
39.2.3	Systembiologie und Hormonwechselwirkungen	1127
39.3	Pflanzen brauchen Licht	1128
39.3.1	Blaulicht-Photorezeptoren	1129
39.3.2	Phytochrome als Photorezeptoren	1129
39.3.3	Biologische Uhren und circadiane Rhythmik	1131
39.3.4	Die Wirkung des Lichts auf die biologische Uhr	1133
39.3.5	Photoperiodismus und Anpassungen an Jahreszeiten	1133
39.4	Pflanzen reagieren, abgesehen von Licht, auf viele weitere Reize	1136
39.4.1	Schwerkraft	1136
39.4.2	Mechanische Reize	1137
39.4.3	Umweltstress	1139
39.5	Reaktionen der Pflanze auf Herbivoren und Pathogene	1141
39.5.1	Verteidigungsstrategien gegen Herbivoren	1142
39.5.2	Verteidigungsstrategien gegen Pathogene	1142

TEIL VII Tiere – Form und Funktion

1149

40.1	Form und Funktion sind bei Tieren auf allen Organisationsebenen eng miteinander korreliert	1153
40.1.1	Physikalische Gesetze beeinflussen die Größe und Gestalt von Tieren ...	1154
40.1.2	Austausch mit der Umgebung	1154
40.1.3	Hierarchische Organisation der Körperbaupläne	1156
40.1.4	Struktur und Funktion von Geweben	1158
40.1.5	Koordination und Kontrolle	1162
40.2	Regulation des inneren Milieus	1163
40.2.1	Regulierer und Konformer	1163
40.2.2	Homöostase	1164
40.3	Einfluss von Form, Funktion und Verhalten auf homöostatische Prozesse	1166
40.3.1	Endothermie und Ektothermie	1166
40.3.2	Veränderung der Körpertemperatur	1167
40.3.3	Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme	1167
40.3.4	Anpassung an unterschiedliche Temperaturbereiche	1172
40.3.5	Physiologischer Thermostat und Fieber	1172
40.4	Energiebedarf eines Tieres in Abhängigkeit von Größe, Aktivität und Umwelt ...	1174
40.4.1	Bereitstellung und Nutzung von Energie	1174
40.4.2	Quantifizierung des Energieverbrauchs	1174
40.4.3	Minimale Stoffwechselrate und Thermoregulation	1175
40.4.4	Faktoren, die die Stoffwechselrate beeinflussen	1176
40.4.5	Energiehaushalt	1176
40.4.6	Torpor und Energiesparen	1178

Kapitel 41	Hormone und das endokrine System	1182
41.1	Signalmoleküle, ihre Bindung an die Rezeptoren und die von ihnen ausgelösten spezifischen Reaktionswege	1184
41.1.1	Typen sezernierter Signalmoleküle	1184
41.1.2	Chemische Klassen von Hormonen	1185
41.1.3	Die Lage der Hormonrezeptoren: Wissenschaftliche Forschung	1186
41.1.4	Reaktionswege in den Zellen	1186
41.1.5	Mehrfachwirkungen von Hormonen	1189
41.1.6	Signalübertragung durch lokale Regulatoren	1190
41.2	Negative Rückkopplung und antagonistische Hormonpaare: Zwei verbreitete Merkmale des endokrinen Systems	1191
41.2.1	Einfache Hormonmechanismen	1191
41.2.2	Die Steuerung des Blutglucosespiegels durch Insulin und Glucagon	1191
41.3	Physiologische Regulation bei Tieren durch getrennte und gemeinsame Wirkungen von Hormon- und Nervensystem	1194
41.3.1	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbellosen	1194
41.3.2	Koordination von Hormon- und Nervensystem bei Wirbeltieren	1194
41.3.3	Hormone des Hypophysenhinterlappens	1196
41.3.4	Hormone des Hypophysenvorderlappens	1199
41.4	Hormonelle Regulation von Stoffwechsel, Homöostase, Entwicklung und Verhalten	1201
41.4.1	Schilddrüsenhormone: Steuerung von Stoffwechsel und Entwicklung	1201
41.4.2	Parathormon und Vitamin D: Steuerung des Ca^{2+} -Spiegels im Blut	1202
41.4.3	Hormone der Nebennieren: Stressantwort	1203
41.4.4	Geschlechtshormone aus den Geschlechtsdrüsen	1205
41.4.5	Melatonin und Biorhythmus	1206
Kapitel 42	Die Ernährung der Tiere	1211
42.1	Die Nahrung der Tiere muss die Versorgung mit chemischer Energie, organischen Molekülen und essenziellen Nährstoffen gewährleisten	1212
42.1.1	Essenzielle Nährstoffe	1213
42.1.2	Mangelernährung	1218
42.1.3	Ermittlung des Nährstoffbedarfs	1219
42.2	Die wichtigsten Stadien der Nährstoffverarbeitung: Nahrungsaufnahme, Verdauung, Resorption und Ausscheidung	1220
42.2.1	Verdauungskompartimente	1222
42.3	Spezialisierte Organe für die verschiedenen Stadien der Nahrungsverarbeitung im Verdauungssystem der Säugetiere	1224
42.3.1	Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre	1225
42.3.2	Verdauung im Magen	1225
42.3.3	Verdauung im Dünndarm	1228
42.3.4	Resorption im Dünndarm	1228
42.3.5	Resorption im Dickdarm	1231
42.4	Ernährung und die evolutive Anpassung der Verdauungssysteme von Wirbeltieren	1233
42.4.1	Anpassung der Zähne	1233
42.4.2	Anpassungen von Magen und Darm	1233
42.4.3	Anpassungen durch Symbiose	1233
42.5	Homöostasemechanismen und Energiehaushalt	1235
42.5.1	Energiequellen und Energiespeicher	1235

42.5.2	Überernährung und Übergewicht	1236
42.5.3	Fettsucht und Evolution	1237

Kapitel 43 Kreislauf und Gasaustausch 1242

43.1	Kreislaufsysteme verknüpfen alle Zellen des Körpers mit Austauschflächen . . .	1243
43.1.1	Gastrovaskularsysteme	1244
43.1.2	Offene und geschlossene Kreislaufsysteme	1244
43.1.3	Die Organisation von Kreislaufsystemen bei Wirbeltieren	1246
43.2	Koordinierte Kontraktionszyklen des Herzens treiben den doppelten Kreislauf bei Säugern an	1249
43.2.1	Der Säugerkreislauf	1249
43.2.2	Das Säugerherz: Eine nähere Betrachtung	1249
43.2.3	Der rhythmische Herzschlag	1251
43.3	Blutdruck und Blutfluss spiegeln Bau und Anordnung der Blutgefäße wider . . .	1252
43.3.1	Bau und Funktion von Blutgefäßen	1252
43.3.2	Strömungsgeschwindigkeit des Blutes	1253
43.3.3	Blutdruck	1254
43.3.4	Kapillarfunktion	1257
43.3.5	Flüssigkeitsrückführung durch das Lymphsystem	1258
43.4	Blutbestandteile und ihre Funktion bei Stoffaustausch, Transport und Abwehr	1259
43.4.1	Blutzusammensetzung und Funktion	1259
43.4.2	Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems	1262
43.5	Gasaustausch erfolgt an spezialisierten respiratorischen Oberflächen	1264
43.5.1	Partialdruckgefälle beim Gasaustausch	1264
43.5.2	Atemmedien	1264
43.5.3	Respiratorische Oberflächen	1265
43.5.4	Kiemen bei wasserlebenden Tieren	1265
43.5.5	Tracheensysteme bei Insekten	1266
43.5.6	Lungen	1267
43.6	Atmung: Ventilation der Lunge	1270
43.6.1	Atmung bei Amphibien	1270
43.6.2	Atmung bei Säugern	1270
43.6.3	Atmung bei Vögeln	1271
43.6.4	Kontrolle der Atmung beim Menschen	1272
43.7	Anpassungen an den Gasaustausch: Respiratorische Proteine binden und transportieren Atemgase	1273
43.7.1	Koordination von Zirkulation und Gasaustausch	1273
43.7.2	Respiratorische Proteine	1274
43.7.3	Tierische Spitzenathleten	1276

Kapitel 44 Das Immunsystem 1282

44.1	Das angeborene Immunsystem basiert auf der Erkennung gemeinsamer Muster von Krankheitserregern	1284
44.1.1	Angeborene Immunabwehr wirbelloser Tiere	1284
44.1.2	Angeborene Immunabwehr der Wirbeltiere	1285
44.1.3	Wie Krankheitserreger dem angeborenen Immunsystem entgehen	1290
44.2	Erworbene Immunität, Lymphocytenrezeptoren und spezifische Erkennung von Krankheitserregern	1290
44.2.1	Erworbene Immunität: Ein Überblick	1291
44.2.2	Antigenerkennung durch Lymphocyten	1291
44.2.3	Die Entwicklung der Lymphocyten	1294

44.3	Erworbene Immunität und die Abwehr von Infektionen in Körperzellen und Körperflüssigkeiten	1298
44.3.1	Helfer-T-Zellen: Reaktion auf nahezu alle Antigene	1299
44.3.2	Cytotoxische T-Zellen: Abwehr gegen intrazelluläre Erreger	1299
44.3.3	B-Zellen: Abwehr gegen extrazelluläre Krankheitserreger	1300
44.3.4	Aktive und passive Immunisierung	1303
44.3.5	Immunologische Abstoßung	1304
44.4	Störungen des Immunsystems	1306
44.4.1	Übermäßige, gegen körpereigene Strukturen gerichtete und verminderte Immunreaktionen	1306
44.4.2	Strategien der Krankheitserreger zur Umgehung der erworbenen Immunabwehr	1308
44.4.3	Krebs und Immunsystem	1310

Kapitel 45 Osmoregulation und Exkretion 1314

45.1	Osmoregulation: Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Abgabe von Wasser und den darin gelösten Stoffen	1315
45.1.1	Osmose und Osmolarität	1316
45.1.2	Osmotische Herausforderungen	1316
45.1.3	Die Energetik der Osmoregulation	1319
45.1.4	Transportepithelien	1320
45.2	Die stickstoffhaltigen Exkretionsprodukte eines Tieres spiegeln dessen Phylogenie und Habitat wider	1321
45.2.1	Formen stickstoffhaltiger Exkretionsprodukte	1322
45.2.2	Einfluss von Evolution und Umwelt auf stickstoffhaltige Exkretionsprodukte	1323
45.3	Verschiedene Exkretionssysteme sind Abwandlungen tubulärer Systeme	1324
45.3.1	Exkretionsprozesse	1324
45.3.2	Ein Überblick über verschiedene Exkretionssysteme	1324
45.3.3	Bau der Säugerniere	1326
45.4	Das Nephron: Schrittweise Verarbeitung des Ultrafiltrats	1328
45.4.1	Vom Ultrafiltrat zum Urin: Eine genauere Betrachtung	1329
45.4.2	Osmotische Gradienten und Wasserkonservierung	1331
45.4.3	Anpassungen der Wirbeltierniere an unterschiedliche Lebensräume	1333
45.5	Hormonelle Regelkreise verknüpfen Nierenfunktion, Wasserhaushalt und Blutdruck	1335
45.5.1	Antidiuretisches Hormon	1335
45.5.2	Das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System	1337
45.5.3	Homöostatische Regulation der Niere	1338

Kapitel 46 Fortpflanzung der Tiere 1343

46.1	Sexuelle und asexuelle Fortpflanzung im Tierreich	1344
46.1.1	Mechanismen ungeschlechtlicher Fortpflanzung	1344
46.1.2	Unisexuelle Fortpflanzung	1345
46.1.3	Bisexuelle Fortpflanzung: Ein evolutionäres Rätsel	1345
46.1.4	Fortpflanzungszyklen und -muster	1346
46.2	Die Befruchtung hängt von Mechanismen ab, die Eizellen und Spermien derselben Art zusammenbringen	1348
46.2.1	Das Überleben des Nachwuchses sichern	1349
46.2.2	Gametenproduktion und -übergabe	1350
46.3	Keimzellenproduktion und -transport mittels Fortpflanzungsorganen	1353
46.3.1	Das weibliche Fortpflanzungssystem	1353

46.3.2	Das männliche Fortpflanzungssystem	1355
46.3.3	Die sexuelle Reaktion des Menschen	1357
46.4	Unterschiede in Zeitverlauf und Muster der Meiose bei männlichen und weiblichen Säugern	1358
46.5	Fortpflanzungsregulierung bei Säugern: Ein komplexes Zusammenspiel von Hormonen	1358
46.5.1	Hormonelle Kontrolle des männlichen Fortpflanzungssystems	1359
46.5.2	Der weibliche Fortpflanzungszyklus	1359
46.6	Bei placentalen Säugern findet die gesamte Embryonalentwicklung im Uterus statt	1365
46.6.1	Empfängnis, Embryonalentwicklung und Geburt	1365
46.6.2	Maternale Immuntoleranz gegenüber Embryo und Fetus	1368
46.6.3	Empfängnisverhütung und Abtreibung	1369
46.6.4	Moderne Reproduktionstechniken	1371
Kapitel 47	Entwicklung der Tiere	1376
47.1	Nach der Befruchtung schreitet die Embryonalentwicklung durch Furchung, Gastrulation und Organogenese fort	1378
47.1.1	Besamung und Befruchtung	1378
47.1.2	Furchung	1382
47.1.3	Gastrulation	1385
47.1.4	Organogenese	1389
47.1.5	Entwicklungsphysiologische Anpassungen von Amnioten	1391
47.1.6	Die Entwicklung von Säugern	1392
47.2	An der tierischen Morphogenese sind spezifische Veränderungen in Zellform, Zellposition und Zelladhäsion beteiligt	1394
47.2.1	Cytoskelett, Zellbewegung und konvergente Ausdehnung	1395
47.2.2	Rolle der Zelladhäsionsmoleküle und der extrazellulären Matrix	1396
47.3	Das Schicksal von sich entwickelnden Zellen ist von ihrer Vorgeschichte und induktiven Signalen abhängig	1397
47.3.1	Anlagepläne	1399
47.3.2	Entstehung zellulärer Asymmetrien	1400
47.3.3	Festlegung des Zellschicksals und Musterbildung durch induktive Signale	1402
Kapitel 48	Neurone, Synapsen und Signalgebung	1410
48.1	Neuronale Organisation und Struktur als Spiegel der Funktion bei der Informationsübermittlung	1411
48.1.1	Einführung in die Informationsverarbeitung	1412
48.1.2	Neuronale Struktur und Funktion	1412
48.2	Aufrechterhaltung des Ruhepotenzials eines Neurons durch Ionenpumpen und Ionenkanäle	1413
48.2.1	Entstehung des Ruhepotenzials	1414
48.2.2	Ein Modell des Ruhepotenzials	1415
48.3	Axonale Fortleitung von Aktionspotenzialen	1417
48.3.1	Erzeugung von Aktionspotenzialen	1417
48.3.2	Erzeugung von Aktionspotenzialen: Eine nähere Betrachtung	1418
48.3.3	Fortleitung von Aktionspotenzialen	1420
48.4	Synapsen als Kontaktstellen zwischen Neuronen	1422
48.4.1	Erzeugung postsynaptischer Potenziale	1423
48.4.2	Summation postsynaptischer Potenziale	1423
48.4.3	Modulation der synaptischen Übertragung	1425
48.4.4	Neurotransmitter	1425

Kapitel 49 Nervensysteme

49.1	Nervensysteme bestehen aus Neuronenschaltkreisen und unterstützenden Zellen	1433
49.1.1	Organisation des Wirbeltiernervensystems	1435
49.1.2	Das periphere Nervensystem	1437
49.2	Regionale Spezialisierung des Wirbeltiergehirns	1439
49.2.1	Der Hirnstamm	1440
49.2.2	Das Kleinhirn (Cerebellum)	1442
49.2.3	Das Zwischenhirn (Diencephalon)	1442
49.2.4	Das Großhirn (Cerebrum)	1443
49.2.5	Die Evolution der Kognition bei Wirbeltieren	1444
49.3	Die Großhirnrinde: Kontrolle von Willkürbewegungen und kognitiven Funktionen	1445
49.3.1	Informationsverarbeitung in der Großhirnrinde	1446
49.3.2	Sprache und Sprechen	1447
49.3.3	Lateralisierung corticaler Funktionen	1448
49.3.4	Emotionen	1448
49.3.5	Bewusstsein	1449
49.4	Gedächtnis und Lernen als Folge von Veränderungen der synaptischen Verbindungen	1450
49.4.1	Neuronale Plastizität	1450
49.4.2	Gedächtnis und Lernen	1450
49.4.3	Langzeitpotenzierung	1451
49.5	Störungen des Nervensystems: Erklärungen auf molekularer Basis	1452
49.5.1	Schizophrenie	1453
49.5.2	Depressionen	1454
49.5.3	Substanzmissbrauch und das Belohnungssystem des Gehirns	1454
49.5.4	Alzheimer-Krankheit	1455
49.5.5	Parkinson-Krankheit	1455
49.5.6	Stammzelltherapie	1456

Kapitel 50 Sensorische und motorische Mechanismen

1461

50.1	Sensorische Rezeptoren: Umwandlung von Reizenergie und Signalübermittlung an das Zentralnervensystem	1462
50.1.1	Sensorische Bahnen	1462
50.1.2	Sensorische Rezeptortypen	1464
50.2	Mechanorezeptoren nehmen Flüssigkeits- oder Partikelbewegungen wahr	1467
50.2.1	Wahrnehmung von Schwerkraft und Schall bei Wirbellosen	1467
50.2.2	Gehör und Gleichgewichtssinn bei Säugern	1468
50.2.3	Gehör und Gleichgewichtssinn bei anderen Wirbeltieren	1472
50.3	Geschmacks- und Geruchssinn basieren auf ähnlichen Sinneszellsätzen	1473
50.3.1	Der Geschmackssinn bei Säugern	1474
50.3.2	Der Geruchssinn des Menschen	1475
50.4	Im ganzen Tierreich basiert das Sehen auf ähnlichen Mechanismen	1477
50.4.1	Sehen bei Wirbellosen	1477
50.4.2	Das Sehsystem von Wirbeltieren	1478
50.5	Muskelkontraktion erfordert die Interaktion von Muskelproteinen	1484
50.5.1	Die Skelettmuskulatur von Wirbeltieren	1484
50.5.2	Andere Muskeltypen	1490
50.6	Das Skelettsystem wandelt Muskelkontraktion in Fortbewegung um	1491
50.6.1	Skelettsystemtypen	1492
50.6.2	Verschiedene Formen der Fortbewegung	1495
50.6.3	Energetische Kosten der Fortbewegung	1496

51.1	Bestimmte sensorische Eingangssignale können sowohl einfaches als auch komplexes Verhalten auslösen	1503
51.1.1	Festgelegte Reaktionsmuster	1504
51.1.2	Gerichtete Bewegung	1505
51.1.3	Verhaltensbiologische Rhythmen	1506
51.1.4	Signalgebung und Kommunikation bei Tieren	1507
51.2	Lernen: Spezifische Verknüpfung von Erfahrung und Verhalten	1510
51.2.1	Habituation	1510
51.2.2	Prägung	1510
51.2.3	Räumliches Lernen	1511
51.2.4	Assoziatives Lernen	1512
51.2.5	Kognition und Problemlösung	1513
51.2.6	Entwicklung von erlernten Verhaltensweisen	1514
51.3	Genetische Ausstattung und Umwelt tragen zur Verhaltensentwicklung bei ...	1514
51.3.1	Erfahrung und Verhalten	1515
51.3.2	Regulatorgene und Verhalten	1515
51.3.3	Genetisch determinierte Verhaltensvariabilität in natürlichen Populationen	1516
51.3.4	Single-Locus-Effekte	1518
51.4	Verhaltensweisen lassen sich durch Selektion auf Überleben und Fortpflanzungserfolg eines Individuums erklären	1519
51.4.1	Verhalten beim Nahrungserwerb	1519
51.4.2	Paarungsverhalten und Partnerwahl	1521
51.5	Gesamtfitness kann die Evolution von altruistischem Sozialverhalten erklären ...	1526
51.5.1	Altruismus	1526
51.5.2	Gesamtfitness	1527
51.5.3	Soziales Lernen	1529
51.5.4	Evolution und menschliche Kultur	1531

TEIL VIII Ökologie1535

Kapitel 52 Ökologie und die Biosphäre: Eine Einführung1538

52.1	Die Ökologie integriert viele biologische Forschungsrichtungen und dient als wissenschaftliche Grundlage für den Natur- und Umweltschutz	1539
52.1.1	Der Zusammenhang zwischen Ökologie und Evolutionsbiologie	1541
52.1.2	Ökologie und Umweltschutz	1542
52.2	Die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt bestimmen ihre Verbreitung und Häufigkeit	1543
52.2.1	Ausbreitung und Verbreitung	1543
52.2.2	Verhalten und Habitatselektion	1545
52.2.3	Biotische Faktoren	1546
52.2.4	Abiotische Faktoren	1547
52.2.5	Klima	1548
52.3	Aquatische Biome: Vielfältige und dynamische Systeme, die den größten Teil der Erdoberfläche einnehmen	1554
52.3.1	Struktur aquatischer Biome	1555
52.4	Klima und unvorhersagbare Umweltveränderungen bestimmen die Struktur und Verbreitung der terrestrischen Biome	1564
52.4.1	Makroklima und terrestrische Biome	1564

52.4.2	Allgemeine Eigenschaften terrestrischer Biome und die Bedeutung von Störungen	1565
--------	---	------

Kapitel 53 Populationsökologie 1575

53.1	Dynamische Prozesse und ihr Einfluss auf die Individuendichte, Individuenverteilung und Demografie von Populationen	1577
53.1.1	Individuendichte und Verteilungsmuster	1577
53.1.2	Demografie	1581
53.2	Wichtige Phasen im Lebenszyklus einer Organismenart als Produkt der natürlichen Selektion	1584
53.2.1	Evolution und die Vielfalt von Lebenszyklen	1584
53.2.2	„Kompromisse“ und Lebenszyklus	1585
53.3	Exponentielles Wachstum: Ein Modell für Populationen in einer idealen, unbegrenzten Umwelt	1587
53.3.1	Pro-Kopf-Zunahme	1587
53.3.2	Exponentielles Wachstum	1588
53.4	Das logistische Wachstumsmodell: Langsameres Populationswachstum bei Annäherung an die Umweltkapazität	1589
53.4.1	Das logistische Wachstumsmodell	1590
53.4.2	Das logistische Modell und natürliche Populationen	1591
53.4.3	Logistisches Modell und Lebenszyklus	1592
53.5	Dichteabhängige Einflüsse auf das Populationswachstum	1593
53.5.1	Populationsveränderungen und Individuendichte	1593
53.5.2	Dichteabhängige Regulation von Populationen	1594
53.5.3	Populationsdynamik	1596
53.6	Die menschliche Bevölkerung: Kein exponentielles Wachstum mehr, aber immer noch ein steiler Anstieg	1599
53.6.1	Die Erdbevölkerung	1600
53.6.2	Globale Umweltkapazität	1603

Kapitel 54 Ökologie der Lebensgemeinschaften 1609

54.1	Wechselbeziehungen zwischen Organismen: Positiv, negativ oder neutral	1611
54.1.1	Interspezifische Konkurrenz	1611
54.1.2	Prädation	1613
54.1.3	Parasitismus	1616
54.1.4	Herbivorie	1617
54.1.5	Mutualismus	1617
54.1.6	Parabiose und Kommensalismus	1618
54.1.7	Metabiose	1618
54.2	Der Einfluss von dominanten Arten und Schlüsselarten auf die Struktur von Lebensgemeinschaften	1620
54.2.1	Artendiversität	1620
54.2.2	Trophische Strukturen	1620
54.2.3	Arten mit einer großen Bedeutung für die Lebensgemeinschaft	1620
54.2.4	Bottom-up- und top-down-Kontrolle in Nahrungsnetzen	1620
54.3	Der Einfluss von Störungen auf Artendiversität und Artenzusammensetzung ...	1620
54.3.1	Charakterisierung von Störungen	1630
54.3.2	Sukzession	1630
54.3.3	Von Menschen verursachte Störungen	1630
54.4	Biogeografische Faktoren und ihre Bedeutung für die Artendiversität in Lebensgemeinschaften	1630
54.4.1	Breitengradabhängigkeit	1630

54.4.2	Effekte der Flächengröße	1636
54.4.3	Insel-Biogeografie	1637
54.5	Lebensgemeinschaften: Ihre Bedeutung für das Verständnis der Lebenszyklen von Pathogenen und deren Bekämpfung	1638
54.5.1	Pathogene und die Struktur von Lebensgemeinschaften	1639
54.5.2	Lebensgemeinschaften und Zoonosen	1640
Kapitel 55	Ökosysteme	1645
55.1	Der Energiehaushalt und die biogeochemischen Kreisläufe von Ökosystemen	1647
55.1.1	Energieerhaltung	1647
55.1.2	Erhaltung der Masse	1648
55.1.3	Energie, Masse und Trophieebenen	1649
55.2	Energie und andere limitierende Faktoren der Primärproduktion der Ökosysteme	1650
55.2.1	Energiebilanzen von Ökosystemen	1650
55.2.2	Primärproduktion in aquatischen Ökosystemen	1653
55.2.3	Primärproduktion in terrestrischen Ökosystemen	1655
55.3	Energietransfer zwischen Trophieebenen: Effizienz meist unter zehn Prozent	1656
55.3.1	Produktionseffizienz	1656
55.3.2	Die Grüne-Welt-Hypothese	1658
55.4	Biologische und geochemische Prozesse regulieren die Nährstoffkreisläufe eines Ökosystems	1659
55.4.1	Biogeochemische Kreisläufe	1659
55.4.2	Mineralisierungs- und Umsatzraten bei Nährstoffkreisläufen	1660
55.4.3	Fallstudie: Nährstoffkreisläufe im Hubbard Brook Experimental Forest	1661
55.5	Der Einfluss des Menschen auf die biogeochemischen Kreisläufe der Erde	1665
55.5.1	Nährstoffanreicherung	1665
55.5.2	Saurer Regen	1667
55.5.3	Umweltgifte	1668
55.5.4	Treibhausgase und globale Erwärmung	1669
55.5.5	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht	1673
Kapitel 56	Naturschutz und Renaturierungsökologie	1678
56.1	Der Mensch als Gefahr für die biologische Vielfalt	1680
56.1.1	Die drei Ebenen der biologischen Vielfalt	1680
56.1.2	Biologische Vielfalt und das Wohlergehen des Menschen	1682
56.1.3	Drei Gefahren für die biologische Vielfalt	1684
56.2	Populationsgröße, genetische Variabilität und kritische Habitatgröße beim Schutz von Populationen	1687
56.2.1	Methode der Ermittlung der minimalen überlebensfähigen Populationsgröße	1687
56.2.2	Populationsextinktion durch zufällige und häufige Umweltereignisse	1691
56.2.3	Abwägen konkurrierender Ansprüche	1693
56.3	Landschafts- und Gebietsschutz zur Erhaltung ganzer Biota	1694
56.3.1	Struktur und biologische Vielfalt von Landschaften	1694
56.3.2	Einrichtung von Schutzgebieten	1696
56.4	Renaturierung: Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme	1700
56.4.1	Biologische Sanierung	1701
56.4.2	Biologische Bestandsstützung	1701
56.4.3	Renaturierung als Zukunftsaufgabe	1702

56.5	Nachhaltige Entwicklung: Die Bewahrung der biologischen Vielfalt und ihr Nutzen für den Menschen	1702
56.5.1	Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung	1702
56.5.2	Fallstudie: Nachhaltige Entwicklung in Costa Rica	1703
56.5.3	Die Zukunft der Biosphäre	1706

Anhang		1711
---------------	--	------

A	Lösungen	1712
B	Glossar	1784
C	Weiterführende Literatur	1853
D	Bildnachweis	1855
E	Index	1863